

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-095684

(43)Date of publication of application : 07.04.1995

(51)Int.Cl. H04R 3/04
G10K 15/00
H04R 3/12

(21)Application number : 05-257596

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 21.09.1993

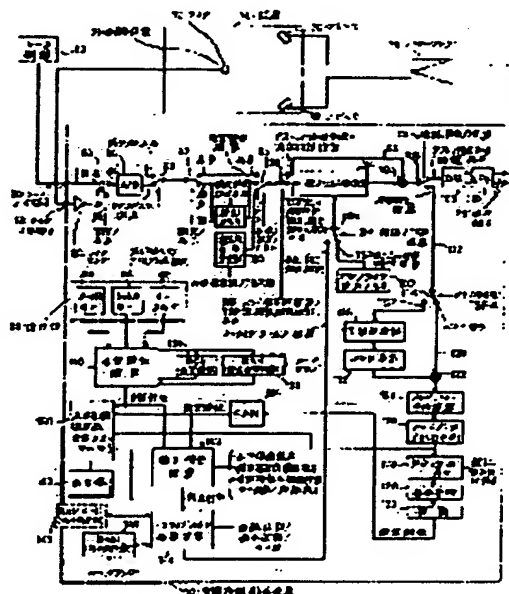
(72)Inventor : ITO TSUGIO
EMOTO NAOHIRO

(54) ACOUSTIC CHARACTERISTIC CORRECTING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To simplify hardware constitution and to miniaturize a device by performing a convolution arithmetic operation by using a common convolution computing element by an inverse filter means and a correction characteristic attaching means.

CONSTITUTION: The application of the convolution computing element 34 can be switched by switching a switch 102. In other words, a filter coefficient read out from TSP inverse filter waveform memory 100 is set when a response characteristic arithmetic operation in a TSP method is performed, and time compression is applied to a collected TSP signal, and an impulse response is found. Also, an equalizer filter coefficient in accordance with correction characteristic found by an equalizer filter coefficient arithmetic part 144 is set at the time of confirmation of a correction effect and the reproduction of music, and it is operated as an equalizer. In this way, the computing element 34 can be used as the inverse filter in the TSP method when response characteristic is calculated, and also as the equalizer at the time of confirmation of the correction effect and the reproduction of the music, which simplifies the hardware constitution.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3147618

[Date of registration] 12.01.2001

[Number of appeal against examiner's decision]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-95684

(43)公開日 平成7年(1995)4月7日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 R 3/04				
G 1 0 K 15/00				
H 0 4 R 3/12	Z	9381-5H	G 1 0 K 15/ 00	M
		9381-5H		L
			審査請求 未請求 請求項の数2	F D (全 23 頁)

(21)出願番号 特願平5-257596

(22)出願日 平成5年(1993)9月21日

(71)出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72)発明者 伊 藤 次 男

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(72)発明者 江 本 直 博

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

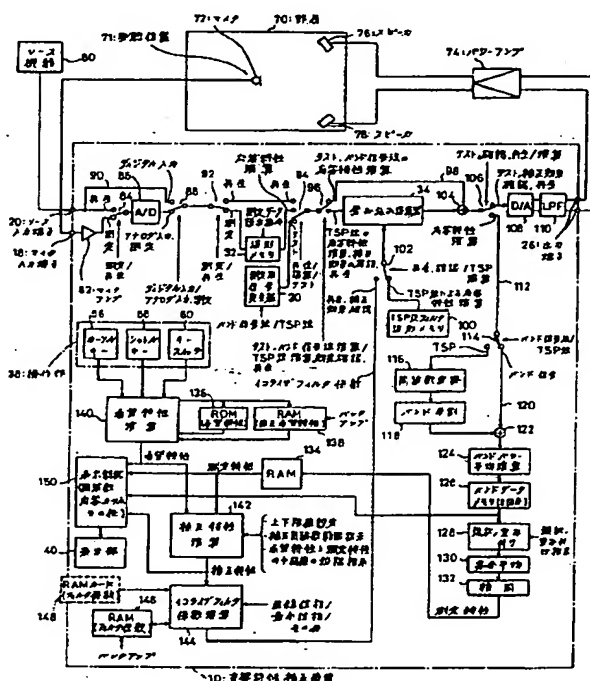
(74)代理人 弁理士 加藤 邦彦

(54)【発明の名称】 音響特性補正装置

(57)【要約】

【目的】 再生系の応答特性が希望特性に一致するように再生系の応答特性を補正する装置において、装置の構成を簡略化する。

【構成】 畳み込み演算器34は、TSP法における応答特性の演算と補正特性の付与に共用される。すなわち、TSP法における応答特性演算時には、TSP逆フィルタ波形メモリ100から読み出されるTSP逆フィルタ波形がフィルタ係数としてセットされて、TSP逆フィルタとして、収音したTSP信号の時間圧縮を行ない、インパルス応答を求める。また、補正特性には、演算で求められた補正特性に対応するイコライザフィルタ係数がフィルタ係数としてセットされてイコライザとして動作する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】測定用信号として T S P 信号を出力する測定用信号発生手段と、この発生された測定用信号をスピーカで再生してマイクで収音した信号を入力して前記 T S P 信号の逆フィルタ特性との畳み込み演算による時間圧縮をしてインパルス応答を求める逆フィルタ手段と、この求められたインパルス応答を周波数変換して音場を含めた再生系の応答特性の測定特性情報を得る周波数変換手段と、音場を含めた再生系の応答特性の希望特性を操作者の操作に基づいて設定する希望特性設定手段と、前記希望特性と前記測定特性に基づいて当該希望特性を実現するための応答特性の補正特性を演算する補正特性演算手段と、再生しようとする音響信号に対して前記演算された補正特性を畳み込み演算により付与する補正特性付与手段とを具備してなる音響特性補正装置であつて、

前記逆フィルタ手段と前記補正特性付与手段が共通の畳み込み演算器を利用して畳み込み演算を行なうことを特徴とする音響特性補正装置。

【請求項 2】前記畳み込み演算器は、前記補正特性の付与に必要な段数を有しかつ前記逆フィルタ特性による時間圧縮に必要な段数を有しないものであり、当該時間圧縮を時間的に分割して行なうことを特徴とする請求項 1 記載の音響特性補正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、リスニングルーム等の音場を含めた再生系の応答特性（周波数応答等）を所望の特性に補正するための音響特性補正装置に関し、装置の構成を簡略化したものである。

【0002】

【従来の技術】部屋やスピーカなどを含む再生系全体の応答特性を補正する装置として、従来はグラフィックイコライザが一般的であった。これは、音声周波数帯域をいくつかの帯域に分割して、分割した帯域ごとにゲインを調整するものであった。しかし、これではどのように調整すれば再生音が希望する応答特性になるのか知ることができなかった。

【0003】そこで、従来のグラフィックイコライザの欠点を解決して再生系全体の応答特性を希望特性に自動設定できるようにしたものとして、例えば特公昭 61-59004 号公報に記載のものがあつた。これは、使用者が希望特性を設定するとともに、再生しようとする音場においてホワイトノイズやインパルス等の測定用信号を再生系のスピーカで再生し、これをマイクで収音してその応答特性を測定し、これが希望特性に一致するように補正特性を求めて、この補正特性に合致するイコライザのフィルタ特性を設定し、音楽信号をこのイコライザを通して再生することにより、希望特性に調整された状態で音楽再生を楽しめるようにしたものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】前記従来の装置では、応答特性を測定するための構成と、この測定結果に基づき応答特性を補正するための構成が別個独立に必要であり、ハードウェア構成が大型化していた。

【0005】この発明は、上述の点に鑑みてなされたもので、装置の構成を簡略化して装置の小型化を可能にした音響特性補正装置を提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項 1 記載の発明は、測定用信号として T S P (Time Stretched Pulse: 時間引き伸ばしパルス) 信号を用いて応答特性の測定を行なう場合に、測定の際の逆フィルタ特性による時間圧縮と補正特性の付与に共通の畳み込み演算器を用いるようにしたものである。

【0007】請求項 2 記載の発明は、このように畳み込み演算器を共用する場合に、畳み込み演算器が補正特性の付与に必要な段数を有しかつ逆フィルタ特性による時間圧縮に必要な段数を有しないものであるときに、当該時間圧縮を時間的に分割して行なうようにしたものである。

【0008】

【作用】請求項 1 記載の発明によれば、測定用信号として T S P 信号を用いて応答特性の測定を行なう場合に、測定の際の逆フィルタ特性による時間圧縮と補正特性の付与に共通の畳み込み演算器を用いるようにしたので、ハードウェア構成が簡略化されて、装置の小型化を図ることができる。

【0009】また、これを実現する場合、一般に逆フィルタによる時間圧縮に必要な畳み込み演算器の段数は補正特性の付与に必要な段数よりもかなり多い場合が多く、逆フィルタによる時間圧縮に必要な段数分用意すると補正特性の付与にとっては無駄になると考えられる。そこで、請求項 2 記載の発明では、畳み込み演算器の段数としては補正特性の付与に必要な段数を用意し、逆フィルタ特性による時間圧縮を時間的に分割して行なうことにより小型の畳み込み演算器を用いて時間圧縮と補正特性の付与に共用できるようにしている。

【0010】

【実施例】この発明の一実施例を以下説明する。図 2 はこの装置全体のハードウェア構成の概要を示したものである。この音響特性補正装置 10 は本体部 12 とリモコン部 14 で構成され、両者間は着脱可能な信号ケーブル 16 で接続されている。

【0011】本体部 12 は、応答特性の測定時は、測定用信号の発生、マイク収音信号に基づく周波数特性演算、補正特性の演算、補正特性に対応する F I R フィルタ係数の演算等を行ない、応答特性測定後のイコライザとしての使用時は、再生しようとする音響信号に対して、設定された F I R フィルタ特性を付与することによ

り応答特性の補正を行なう。リモコン部14は、本体部12に対して測定時や希望特性設定時の各種動作の指示や各種応答特性（測定特性、希望特性、補正特性等）等の表示を行なう。

【0012】本体部12において、マイク入力端子18には、応答特性の測定時に測定用マイクが接続されて、マイク收音信号が入力される。また、ソース入力端子20にはCDプレーヤ等のソース機器が接続されて、イコライザとしての使用時にソース機器から再生されるソース信号が入力される。入力部22はマイク入力やソース入力のA/D変換を行なう。出力部24はイコライザ処理されたソース信号や測定用信号（テストトーン信号）をD/A変換して出力端子26から出力する。パッチベイ部28は、測定時とイコライザ時とで、入出力その他各種信号の結線をそれぞれつなぎ変える。波形メモリ出力部30は、ROMに記憶されている測定用信号波形（バンド信号波形、TSP信号波形）およびTSP逆フィルタ波形を読み出して出力する。

【0013】入力波形メモリ部32は、A/D変換されたマイク入力をRAMに記憶する。畳み込み演算器34は実時間畳み込み回路（例えば、ヤマハ株式会社製LS1YM7309を多数段縦列接続して数千段（例えば4000〜8000段）の畳み込み器を構成した回路）で構成されており、イコライザ時にはイコライザのフィルタ係数をここに転送することによってFIRフィルタによるイコライザを構成する。また、TSP信号を測定用信号として使う場合の測定時には、TSP逆フィルタ係数を畳み込み演算器34に転送することによりTSP逆フィルタを構成する。データ処理計算その他制御部36はCPUで構成され、測定データの処理（測定特性、希望特性、補正特性の演算、補正特性に対応するイコライザフィルタ係数の演算（フーリエ逆変換）等）やパッチベイ部28の接続切換え、その他本体部12で必要な制御およびリモコン部14のCPU42との信号のやり取り等を行なう。

【0014】リモコン部14において、操作部38は測定時や希望特性設定時、補正特性設定時に本体部12に対して必要なすべての指示を行なう。表示部40は各種応答特性の表示や操作のための表示を行なう。CPU42は本体部12のCPU36との間でデータのやり取りを行なう。

【0015】リモコン部14のパネル構成例を図3に示す。表示部40はLCD表示器等で構成され、各種応答特性がグラフ表示される。すなわち、上段のグラフ表示部には共通のグラフ軸（横軸が周波数、縦軸がレベル）上に測定特性が棒グラフ44で、希望特性（フラット特性の例を示す。）が線グラフ46で重ねて表示される。また、周波数範囲を指示するカーソル62、64が縦線で表示される。また、下段には、希望特性と測定特性の差として演算される補正特性が線グラフ48で表示され

る。また、上段と下段の間には、操作者の操作により設定された補正周波数範囲が横棒グラフ50で表示される。この場合、補正周波数範囲外は補正特性表示48がされなくなる（あるいは0dBラインにフラットに表示される。）。グラフ表示部の上部、下部には操作者の操作を手助けするために現在の設定項目や設定内容等を表示する表示部分52、54が設けられている。

【0016】操作部38には、カーソルキー56、シャトルキー（ロータリエンコーダ）58、各種キースイッチ60等が配設されている。カーソルキー56はアップキー56a、ダウンキー56b、左カーソル選択キー56c、右カーソル選択キー56dで構成されている。左右カーソル選択キー56c、56dは、例えば希望特性を修正するときや補正周波数範囲を設定するときに、表示部40の左右カーソル62、64のいずれか一方を選択するのに用いられる。左カーソル選択キー56cを押してシャトル58を回すと、回した方向に左カーソル62が動いて周波数範囲の下限値が設定される。右カーソル選択キー56dを押してシャトル58を回すと、回した方向に右カーソル64が動いて周波数範囲の上限値が設定される。カーソル62、64のうち選択されているほうの位置には例えば▽マーク65が表示され、これによりいずれが選択されているかがわかる。アップ、ダウンキー56a、56bは例えば希望特性を修正するときに用いられるもので、指定した周波数範囲についてアップキー56aを押すと希望特性のレベルが曲線で滑らかに徐々にアップされ、ダウンキー56bを押すと希望特性のレベルが曲線で滑らかに徐々にダウンされる。キースイッチ60は、設定項目の選択、測定データの選択、実行指示その他各種の指示に用いられる。

【0017】図2の音響特性補正装置10を用いて周波数特性の測定からイコライザとして使用するまでの手順の概要を図4に示す。各工程は操作者によるモード進行操作により順次進められていく（例えば1つのキースイッチを押すごとに次の工程に進む）。各工程について概要を説明する。

【0018】① テスト

図5(a)に示すように、音楽再生を行なう部屋70で受聴位置71にマイク72を配置して、本機10から測定用信号を出力してパワーアンプ74を介して再生に用いるスピーカ76、78から再生し、これをマイク72で收音して收音波形を本機10内のメモリに取り込む。この測定は、必要に応じて図5(a)の右に示すように受取位置71を中心とした複数点（例えば5点）にマイク72を移動して各位置で行なう。

【0019】② 測定特性の演算

メモリに取り込まれた收音信号に基づいて応答特性を演算する。求められた応答特性（測定特性）は、リモコン部14の表示部40に例えば図6(a)に示すようにバーグラフで表示される。

【0020】③ 希望特性の設定

リモコン部14にて、表示部40を見ながら操作部38で操作して希望特性を設定する。選択されあるいは設定された希望特性は表示部40で図6(b)に示すように、測定特性の表示44と同一グラフ軸上に重ねて線グラフ46で表示される。希望特性として例えばこの図6

(b)に示すように、測定特性44をならしてフラットにしたような特性に設定する場合は、両特性表示が同一グラフ軸上に重ねて表示されているので、どういう希望特性にすればフラットになるか一目でわかり、設定が容易である。

【0021】④ 補正特性の演算

希望特性を設定すると、補正特性が希望特性と測定特性との差として自動的に演算されて、表示部40に図6

(c)に示すように線グラフ50で表示される。希望特性の修正を行なっている時も、補正特性が随時演算されて表示される。

【0022】⑤ 補正特性の修正

補正特性のピークが大きいと聴感上違和感を生じるので、必要に応じて補正特性のレベルについて上下限値を規制する。また、使用するスピーカの再生周波数特性の限界から補正範囲に制限がある場合等は、必要に応じて補正周波数範囲を規制する(つまり、補正周波数範囲外の補正量を0dBにする)。

【0023】⑥ イコライザフィルタ係数の演算

補正特性が決まったら、これをフーリエ逆変換して対応するインパルス応答を求める。この場合、使用する状況等に応じて、直線位相処理フーリエ逆変換、最小位相処理フーリエ逆変換あるいはその他のアルゴリズムのフーリエ逆変換の中から任意に選択して用いる。この結果、図6(d)や(e)に示すようなインパルス応答が求まる。イコライザ(FIR)フィルタ係数は、このインパルス応答の時間軸上各位置におけるレベル値として与えられる。このようにして、全周波帯域にわたるイコライザ特性が設定される。

【0024】⑦ 補正効果の確認

必要に応じて補正効果の確認を行なう。これは、求められたイコライザフィルタ係数を畳み込み演算部34にセットしてイコライザを構成し、測定用信号に対しこのイコライザで補正特性を付与してスピーカから再生して再度応答特性を測定し、表示部40上にこの測定特性と希望特性を重ねて表示して補正効果を確認する。両特性が一致するほど希望特性どおりの補正が行なわれたことになる。スピーカ特性の限界等がら期待どおりの補正状態が得られなかった場合は、必要に応じて希望特性の再修正を行なう。

【0025】⑧ 音楽再生

イコライザフィルタ特性が最終的に決定されたら、図5(b)に示すように、CDプレーヤ等のソース機器80を接続して本機10の本体部12をイコライザとして用

いて最終目的である音楽再生を行なう。

【0026】以上の手順の各工程を実現するための音響特性補正装置10内の制御ブロック構成を図1に示す。図1では測定時の接続状態を示している。マイク入力端子18、ソース入力端子20には、測定用マイク72、ソース機器80がそれぞれ接続される。マイク入力端子18から入力された測定信号はマイクアンプ82で増幅される。スイッチ84は測定および演算時(前記①~⑦の工程)と再生時(前記⑧の工程)とで切り換えられる。A/D変換器86はマイク入力またはアナログソース入力をデジタル信号に変換する。スイッチ88は、デジタルソース入力をバイパス路90に通すためのもので、デジタルソース入力再生時とそれ以外のモード時(アナログ入力再生時、測定時)とで切り換えられる。スイッチ92は、測定時と再生時で切り換えられる。波形メモリ32はテスト時にマイク入力を取り込むものである。測定用信号発生器30は、測定用信号の波形を記憶するROMで構成されている。この実施例では、測定用信号としてバンド信号法(後述する)のバンド信号およびTSP法(後述する)のTSP信号を記憶しており、そのうちいずれかを操作者の選択操作に応じて読み出せるようにされている。

【0027】スイッチ94は、再生時と、応答特性演算時と、テスト時で切り換えられる。スイッチ96は畳み込み演算器34を通るルートとこれをバイパスするルート98を切替えるもので、テスト時およびバンド信号法における応答特性演算時はバイパス路98を選択し、TSP法における応答特性演算時、補正効果の確認時および音楽再生時は畳み込み演算器34を通るルートを選択する。畳み込み演算器34は、スイッチ102の切換えにより、用途が切り換えられる。すなわち、TSP法における応答特性演算時には、TSP逆フィルタ波形メモリ100から読み出されるTSP逆フィルタ波形がフィルタ係数としてセットされて、TSP逆フィルタとして、收音したTSP信号の時間圧縮を行ない、インパルス応答を求める。また、補正効果の確認時および音楽再生時(補正特性の付与時)には、演算で求められた補正特性に対応するイコライザフィルタ係数がフィルタ係数としてセットされてイコライザとして動作する。これにより、畳み込み演算器34が応答特性演算時のTSP法における逆フィルタと補正効果確認時および音楽再生時のイコライザに兼用されるので、ハードウェア構成が簡略化される。このように兼用しても、応答特性演算と、補正効果確認および音楽再生とは同時に行なわれないので全く問題ない。

【0028】なお、畳み込み演算器34が、前記補正特性の付与に必要な段数を有するが逆フィルタ特性による時間圧縮に必要な段数を有しないものである場合は、時間圧縮を時間的に分割して行なう。

【0029】畳み込み演算器34の出力またはバイパス

路 98 を通った出力は、加算点 104 を通ってスイッチ 106 に入力される。スイッチ 106 は、テスト時、補正効果確認時、音楽再生時と応答特性演算時とで切換えられる。テスト時、補正効果確認時、音楽再生時は、スイッチ 106 を通った測定用信号または音楽信号は、D/A 変換器 108 およびローパスフィルタ 110 でアナログ信号に直されて出力端子 26 から出力され、パワーアンプ 74 を介して部屋 70 内のスピーカ 76, 78 で再生される。

【0030】 応答特性演算時にスイッチ 106 からライン 112 に導かれた信号は、スイッチ 114 で測定法に応じて振り分けられる。すなわち、TSP 法の場合は、周波数変換手段 116 でインパルス応答信号をフーリエ変換して周波数情報に変換した後、バンド分割手段 118 で所定の周波数帯域（例えば 1/3 オクターブバンドごと）に分割する。また、バンド信号法の場合、もともと周波数帯域（例えば 1/3 オクターブバンドごと）に分割した状態で測定データが得られているので、そのままバイパス路 120 に通される。両経路の信号は加算点 122 を経てバンドパワー平均演算回路 124 で分割バンドごとのパワー平均が求められる。求められた全周波数帯域のバンドパワーデータはバンドデータメモリ 126 に記憶される。バンドデータメモリ 126 は複数回（例えば 8 回分）の測定データを記憶することができる。各回の測定データは操作者の表示選択操作に応じて棒グラフで表示される（図 3 の測定特性表示 44）。

【0031】 選択、重み付け手段 128 は、バンドデータメモリ 126 に記憶された複数回の測定データのうち操作者の取捨選択操作によって選択指示されたものを選択出力する。また必要に応じて受聴位置 71 に対する測定ポイント P1～P5 の位置（図 5（a））等に応じて測定データに重み付けをする。集合平均手段 130 は、選択、重み付けされた複数の測定データの集合平均を演算する。補間手段 132 は、集合平均された各バンドごとの値を各バンドの中心周波数における値として扱って、各バンドの中心周波数間を補間して全周波数帯域を連続的に滑らかな曲線データでつないだ特性を求める。このようにして求められた補間データは RAM 134 に最終的な測定特性として記憶される。

【0032】 ROM 136 には、希望特性として平均特性その他いくつかの特性が記憶されており、キースイッチ 60 で選択されたものが読み出される。選択された希望特性は操作者によるカーソルキー 56、シャトルキー 58 等の操作に基づいて演算手段 140 にて所望の特性に修正される。修正された希望特性はバックアップ電源付 RAM 138 に記憶されて、ROM 136 の特性と同様に随時読み出して使用することができる。

【0033】 演算手段 142 は、設定された希望特性と測定特性から補正特性を演算する。補正特性は必要に応じて操作者の操作に基づいて補正レベルの上下限值規

制、補正周波数範囲の規制等の修正が加えられる。イコライザフィルタ係数演算手段 144 は設定された補正特性に対応するイコライザフィルタ係数を算出する。算出されたフィルタ係数は、畳み込み演算器 34 にセットされて、音楽再生時、補正効果確認時のイコライザ特性が設定される。また、算出されたフィルタ係数はバックアップ電源付 RAM 146 に記憶されて、随時読み出して使用することができる。また、RAM カード 148 にも記憶されて、他の音楽特性補正装置にこの RAM カード 148 を差し込むことによりこのフィルタ係数を共用できるようにされている。

【0034】 表示制御手段 150 は演算された測定特性、希望特性、補正特性等をリモコン部 14 の表示部 40 に表示するための制御を行なう。なお、図 1 の各スイッチの切換え制御や畳み込み演算器 34 以外での各種演算は本体部 12 の CPU 36（図 2）にて実行される。

【0035】 次に、以上説明した図 1 の制御ブロックによる前記図 4 の手順の各工程の制御について詳しく説明する。

① テスト

室内で応答特性を測定すると、場所によってかなり特性に差異を生じる。これは、室内の天井、床、壁などからの反射波が相互に干渉し、周波数特性を乱すためである。また、この現象は、波長の短い高い周波数ほどわずかな場所の違いでも顕著である。したがって、1 か所の測定ポイントのデータに基づいて補正特性を求めてイコライザのフィルタ係数を求めると、そのポイントでは最良の結果を与えるが、その周辺まで含めたエリア（リスナの頭が動く範囲等）としては極端なピーク・デブが生じたりして最良の結果が得られないことがある。

【0036】 そこで、この実施例では、前記図 5（a）の右に示すように、部屋 70 内の受聴位置 71 を中心としてある測定領域 73 を設定して、この領域 73 の中に受聴位置 71 を含む複数の測定ポイント P1～P5 を設定して、各ポイント P1～P5 にマイク 72 を移動して測定を行ない、それらの空間平均から補正特性を求める。これにより、その領域内のいずれの位置においても平均的に良好な補正特性が得られ、補正の有効なエリアを拡大することができる。

【0037】 また、この実施例では、テスト法として、前述のようにバンド信号法と TSP 法のいずれか一方を操作者の選択操作に応じて選択できるようにされている。TSP 法は、測定時間が短くてすみ、また分割帯域ごとの離散的な測定データでなく、連続的な測定データを得ることができる利点がある。ただし、この実施例では、前述のように、TSP 法に用いる TSP 逆フィルタとしてイコライザ用の畳み込み演算器 34 を兼用しているので、測定用 TSP 信号の長さに限界があり、この結果測定用 TSP 信号全体のパワーに限界があり、ノイズの多い環境下で測定に用いると、測定結果の SN 比が悪

くなる可能性がある。

【0038】したがって、ノイズが多い環境下や測定時間に制約を受けない場合にはバンド信号法を使用し、ノイズが少ない環境下や測定時間が限られている場合（例えば、ホール等において再生系統（スピーカ系統）が多数あり、バンド信号法では測定に時間を要する場合等）にはTSP法を用いるようにして、両方法を使い分けるようにする。

【0039】バンド信号法、TSP法を使用したテスト方法についてそれぞれ説明する。

(a) バンド信号法

バンド信号法は、周波数帯域を複数分割したバンド信号を時間をずらして順次発して、各バンドごとの応答を測定するものである。ここでは、各バンドの帯域幅は、比較的聴感特性に近いといわれている1/3オクターブバンド法（つまり、各バンドが1/3オクターブバンド幅を有する分割法）を用いている。この場合、分割ピッチを細かく取れば分割能の高い連続データを得ることも可能であるが、全帯域のバンド信号を発するのに膨大な時間を要することになる。そこで、ここでは、操作者の選択操作により分割ピッチを、図7(a)の1/3オクターブごとまたは同(b)の1/6オクターブごとのいずれかに設定して測定し、測定データを補間して連続的なデータを求めている。分割ピッチを1/3オクターブピッチとすれば、バンド幅はオーバーラップなしとなり、1/6オクターブピッチとすれば、バンド幅は1/3オクターブずつオーバーラップしながら推移していく。オーバーラップさせれば測定データにおけるバンド間のつながりが良好となる。

【0040】図8に1/3オクターブバンドで1/3オクターブピッチに分割した場合の例を示す。(a)がバンド信号波形中心周波数、(b)がバンド信号波形（中心周波数が100Hzの場合）、(c)がバンド信号波形の出力フローである。(b)のバンド信号波形は図1の測定用信号発生器30(ROM)に記憶されており、この読み出し速度を変えることにより、各バンドの測定用信号が発生される。時間をずらして順次スピーカ76, 78から発せられたバンド信号は、バンドごとにマイク72で收音されてその收音波形が図1の波形メモリ32に記憶される。

【0041】(b) TSP法

一般にホールなどのインパルス応答を測定するのに単一パルスを用いるが、信号のパワーが小さいため、同期加算などの手法を併用しても、SN比が充分とれないことが多い。これに対して、TSP信号を用いると、信号パワーが大きく、SN比をとり易い。また、逆フィルタが容易に求まり、TSP信号の応答をインパルス応答に変換するには、この逆フィルタとの畳み込み演算を行えばよいので、畳み込み器が使える場合は、変換が容易である。従って、TSP信号は計測用として都合の良い特

性を持っている。

【0042】TSP法に用いるTSP信号は図9(a)に示すような波形をしている。このTSP波形は図1の測定用信号発生器30に記憶されており、1回の測定で1度読み出されてスピーカ76, 78から再生される。再生されたTSP信号はマイク72で收音されて、その收音波形が波形メモリ32に記憶される。

【0043】② 測定特性の演算

波形メモリ30に記憶された收音波形に基づく応答特性の演算は、テスト法に応じて次のように行なわれる。

【0044】(a) バンド信号法

バンド信号法において図1の波形メモリ30に記憶された各分割バンドごとの收音波形は、即座にスイッチ94, 96、バイパス路98、加算点104、スイッチ106, 114、バイパス路120、加算点122を経て、バンドパワー平均演算手段124にて分割バンドごとのバンドパワー平均が算出されて、バンドデータメモリ126に記憶される。バンドデータメモリ126には複数回分の測定データが記憶可能であり、例えば図5(a)の右に示す5ポイントP1~P5の測定データを記憶する。選択重み付け手段128は、操作者が表示部40で個々の測定特性を見てそのうち他と極端に異なるデータを除外するなどして、データを取捨選択する。また、残されたデータについて必要に応じて重み付けをする。重み付けは、具体的には、測定ポイントが例えば図5(a)右に示す5ポイントP1~P5である場合には、中心位置（主に頭がある位置）のポイントP1を1として他のポイントP2~P5をそれぞれ0.5としたり、中心位置のポイントP1を1として他のポイントP2~P5を合計して1とする等がある。

【0045】取捨選択および重み付けされた測定データは、集合平均手段130にて集合平均がとられる。これにより、測定を行なった領域の平均的な測定データが得られる。集合平均された測定データは、分割バンドごとの離散的なデータであるので、これを補間手段132で補間して、連続的な滑らかな曲線データに直す。補間法としては、短時間での補間が可能なスプライン補間法が適している。補間は、図10に示すように分割バンドごとにパワー平均として求められたデータを、それぞれのバンドの中心周波数における値として扱って、前後の数点の値をもとに各点間をスプライン補間して例えば4096点の補間データを求め、これを測定特性として用いる。

【0046】このように、分割バンドごとのパワー平均を求めてこれを中心周波数における値として、各点間をスプライン補間することにより、得られる測定特性結果に有益かつ実的な平均化が図られ、従来のように測定特性に位相干渉による大きなピーク・ディップが生じるのが防止されるので、測定特性をそのまま用いて補正特性を求めて特性補正に用いた場合の極端な補正による聴

感上の違和感が防止される。このようにして求められた測定特性のデータは、図1のRAM134に記憶されて表示部40にて棒グラフ表示（図3の測定特性表示44）される。

【0047】(b) TSP法

TSP法において図1の波形メモリ32に記憶された収音波形は、即座にスイッチ94、96を経て畳み込み演算器34にてTSP逆フィルタ係数メモリ100に記憶された逆TSP波形（図9（b））と畳み込み演算（時間圧縮）されて、インパルス応答（図9（c））が得られる。逆TSP波形は、TSP波形（図9（a））を時間的に反転した波形である。なお、TSP信号の時間圧縮フィルタとして畳み込み演算器34の段数が不足する場合は、前述のように時間圧縮を分割して行なうことができる。

【0048】畳み込み演算器34から出力されるインパルス応答は、加算点104、スイッチ106、114を経て周波数変換手段116でフーリエ変換されて、周波数応答特性（図9（d））が求められる。求められた周波数応答特性は、バンド分割手段118でバンド信号法と同様の状態（1/3オクターブバンド幅で、1/3または1/6オクターブピッチ）にバンド分割される。バンド分割された測定データはバンド信号法の場合と同一の処理を受ける。すなわち、バンド分割手段118で分割されたバンドごとの測定データは、加算点122を経て、バンドパワー平均演算手段124にて分割バンドごとのバンドパワー平均が算出されて、バンドデータメモリ126に記憶される。バンドデータメモリ126には多点複数回分の測定データが記憶される。選択重み付け手段128は、操作者が表示部40で個々の測定特性を見てそのうち他と極端に異なるデータを除外するなどして、データを取捨選択する。また、残されたデータについて必要に応じて重み付けをする。取捨選択および重み付けされた測定データは、集合平均手段130にて集合平均がとられる。これにより、測定を行なった領域の平均的な測定データが得られる。集合平均された測定データは、分割バンドごとの離散的なデータであるので、これを補間手段132でスプライン補間して、連続的な滑らかな曲線データに直す。補間された測定データは、測定特性としてRAM34に記憶されて、表示部40にて棒グラフ表示される。

【0049】このように、TSP法においても測定データを一旦帯域分割してバンドごとのパワー平均をとって、補間して連続的なデータを得るようにしているの
で、測定特性に位相干渉による大きなピーク・ディップが生じるのが防止されるので、測定特性をそのまま用い

て補正特性を求めて特性補正に用いた場合の極端な補正による聴感上の違和感が防止される。

【0050】ここで、時間圧縮を分割して行なう方法の具体例について説明する。図22はそのハードウェア構成を示したものである。入力データ（収音データ）は逆TSP波形との畳み込み演算に必要な分が制御部150を介してテンポラリバッファ（RAM）152に順次蓄えられる。係数メモリ（TSP逆フィルタ波形メモリ）100にはTSP逆フィルタ波形が畳み込み演算の係数値として記憶されている。畳み込み演算器34は、例えば図23に示すように、複数の入力データを保持する入力データレジスタ154、これら各入力データに対応づけるべき複数の係数データを保持する係数レジスタ156、これら各入力データと各係数データを順次かけ算する乗算器158および各乗算値を累算する累算器160で構成されている。畳み込み演算器34のレジスタ154、156の段数が逆TSP波形との畳み込み演算に必要な段数に満たない場合は、単純には図23の畳み込み演算器34を複数段に縦列接続することによって対処できる。しかし、これでは畳み込み演算器34の段数が非常に増えてしまい、畳み込み演算器34を補正特性の付与に兼用することの効果が失われてしまう。

【0051】そこで、図22の構成では、逆TSP波形との畳み込みを1つの畳み込み演算器ずつ34で可能な分ずつ複数回に分けて時間分割して行ない、各回ごとの累算結果を合計して最終的な畳み込み演算値を算出している。すなわち、制御部150は、テンポラリバッファ152に蓄えられている入力データのうち1度に畳み込み演算が可能なデータ数分のデータを読み出し、かつ係数メモリ100からこれら読出された各データに付与すべき係数を読み出して畳み込み演算し、その演算結果（途中までの累算結果）をテンポラリバッファ152に一時的に蓄えておく。続いて、次の分割部分のデータについて同様に畳み込み演算し、その演算結果を前の累算結果に加算する。このようにして、分割部分ごとの畳み込み演算およびそれまでの累算値との加算を繰り返していくことにより、最終的な演算結果を得ることができる。

【0052】具体的には、1つの出力サンプル $y(x)$ を得るのに

$$y(k) = \sum_{i=0}^{n-1} h(i) x(k-i)$$

の演算が必要であるとすると、これを

13

$$y(k) = \sum_{i=0}^{k-1} h(i) x(k-i) + \sum_{i=1}^{21} h(i) x(k-i) + \dots$$

(第1回目演算)

$$+ \sum_{i=1}^{k-1} h(i) x(k-i)$$

(第m回目演算)

のm回に分けて演算を行なう(但し、1:1度に可能な畳み込み演算数)。

【0053】以上の分割畳み込みを実現するための制御部150による制御ブロック構成を図24に示す。テンポラリバッファ152には、入力データを記憶する領域と累算値を記憶する領域がある。入力データは制御手段162を介してテンポラリバッファ152に蓄えられる。制御手段162は、1つの分割部分の入力データをテンポラリバッファ152から読み出し、またこれに対応づけるべき係数データを係数メモリ100から読み出して、畳み込み演算器34にて畳み込み演算を行なう。また、それまでの累算結果をテンポラリバッファ152から読み出して畳み込み演算器34にてその時の演算値に加算して、新たな累算値を求める。新たな累算値が求まると、テンポラリバッファ152の累算値はこの新たな累算値に更新される。そして、分割部分ごとの畳み込み演算、それまでの累算値との加算、累算値の更新を繰り返すことにより、最終的な累算値が求まる。この累算値は、最終的な演算結果としてテンポラリバッファ152から読み出されて制御手段162を介して出力される。図25は以上の制御のフローチャートを示すもので、この制御フローが入力データの1サンプル周期内で完了するように制御が行なわれる。

【0054】制御部150による制御の別の例を図26に示す。これは、分割部分ごとの演算値の累算を畳み込み演算器34内で行わずに、制御手段164内で行なうようにしたものである。すなわち、1つの分割部分の演算値が求まると、制御手段164はテンポラリバッファ152からそれまでの累算値を読み出してこれらを加算し、その加算値を新たな累算値としてテンポラリバッファ152の累算値データを更新する。最終的な累算結果はテンポラリバッファ152から読み出されて制御手段162を介して出力される。

【0055】以上説明した①テストおよび②測定特性の演算における操作手順の一例を図11に示す。はじめに、マイク位置を設定して(S1)、テスト法としてバンド信号法、TSP法のいずれかを選択する(S2)。さらに、バンド分割のピッチとして1/3オクターブバンドピッチ、1/6オクターブバンドピッチのいずれかを選択する(S3)。その後テスト開始ボタンを投入すると(S4)、テスト音がスピーカ76、78から再生され、マイク72で収音されて波形メモリ32に記憶さ

14

(第2回目演算)

れる(S5)。測定結果はすぐに表示部40にて棒グラフ表示され(S6)、操作者はこれを見て確認することができる。測定結果が異常(例えば大きなノイズが入った等)と思われる場合はそのポイントで再テストを行なう(S7、S8)。測定結果が良好なものであれば、マイク位置を別のポイントに移動してテストを繰り返す(S9)。

【0056】全てのポイントについてテストが終了したら(S10)、表示部40に収集データを順次表示して必要に応じてデータの取捨選択を行なう(S11)。選択されたデータについては必要に応じて自動または手動設定で測定ポイントごとに重み付けがなされる(S12)。そして、重み付けがされた各ポイントのデータについて集合平均値さらには補間値が自動演算されて、RAM134に最終的な1つの測定特性データとして記憶されて(S13)測定を終了する。

【0057】③ 希望特性の設定

希望特性の設定フローの一例を図12に示す。リモコン部14(図3)にて希望特性設定モードを選択操作すると、表示部40にグラフスケールが表示され(S22)、RAM134に記憶されている測定特性が棒グラフ44で表示される(S23)。次いで、希望特性の選択操作をすると(S24)、対応する希望特性がROM136またはRAM138から読み出されて、表示部40に折れ線グラフ46で表示される(S25)。

【0058】ところで、リスニングルームまたはホールなどでのスピーカの伝送特性は、スピーカの指向性や部屋の残響特性により変化すると共に、聴感上の望ましい特性も、測定特性を平坦化することとは必ずしも一致しない。したがって、その部屋での望ましい特性が容易に設定できれば、便利である。例えば、大型スピーカシステムで、ホールでのPA(Public Address)用の特性として望ましい希望特性とか、家庭のリスニングルームで小型スピーカで聴く時の望ましい希望特性などを予め用意しておくことにより、簡単にその特性への補正が可能となる。

【0059】そこで、ROM136には、希望特性の一般的パターンとして例えば図13に示すように全帯域にわたり平坦な特性C1のほか、平坦特性の低域、高域を減衰させた特性C2、低音重視特性C3、中音重視特性C4、低高音重視特性C5などを予め用意しておけば便利である。この場合、表示部40に特性パターン名を表示することにより、操作者はこれを参照して所望の特性パターンにカーソルを移動して選択操作して、対応する特性データをROM136から読み出して希望特性として用いることができる。また、各種スピーカ(ホール内

PA用、野外PA用、スタジオモニター用小型スピーカ等)や各種部屋(和室リスニングルーム、洋室リスニングルーム等)で分類した特性データをROM136に記憶しておき、表示部40にスピーカ種類名や部屋種類名を表示することにより、操作者はこれを参照して、使用するスピーカ種類や部屋に応じてカーソルを移動してスピーカ種類や部屋種類を選択操作することにより、対応する特性データをROM136から読み出して希望特性として用いることができる。希望特性が設定されたら、演算手段142にて〔測定特性〕-〔希望特性〕の演算が自動的に行われて、補正特性が求められ、表示部40に折れ線グラフ48にて表示される(S27)。ROM136から読み出された特性データは希望特性としてそのまま使用することができるが、さらに部分的に修正して用いることもできる。

【0060】従来のグラフィックイコライザやパラメトリックイコライザの場合の特性調整法としては、図14に示すように、中心周波数F、ゲインGおよび尖鋭度Qの値を変化させて調整するのが一般的であった。この場合、調整の順序としては、中心周波数Fをまず決めて、次いでQの値を設定して、最後にゲインGを上下することになるが、3つのパラメータをそれぞれ独立に設定しながら目標の特性に合わせ込む必要があり、調整操作は簡単ではなかった。また、Qを変化させるとその影響が全周波数範囲に及んでしまうので、Qを変化させたときに実際に特性がどのように変化するか把握しずらく、調整しづかった。

【0061】そこで、ここでは中心周波数を決めるのではなく、どこからどこまでという周波数範囲を設定し、その両端での特性の滑らかなつながりを保ちつつ指定範囲内の特性を上下させることで、滑らかでかつ人間の感覚に近い希望特性の特性曲線を簡単に設定できるようにしている。この設定手順を示す図12のステップS28以下の工程について説明する。

【0062】希望特性が設定された当初は、表示部40上のカーソル62、64で指示されている周波数範囲下限値または上限値のうち一方が選択されて修正可能になっている(選択されているほうに▽マーク65が表示される。)。この状態でシャトルキー58を操作すると(S28)、周波数範囲上限値、下限値のうち選択されているほうの値がシャトルキー58を回した方向に変化し(S29、S30、S31)、これにつれて表示部40上の▽マーク65が付いているほうのカーソル62または64も同方向に移動する(S32)。

【0063】左右カーソルキー56cまたは56dを押して他方のカーソルに切り換える操作をすると(S34)、周波数範囲下限値または上限値のうち切り換えられたほうの値が修正可能となり、表示部40上の▽マーク65の位置も他方のカーソル側に移動する。この状態でシャトルキー58を操作すると(S28)、該当する

ほうの値がシャトルキー58を回した方向に変化し(S29、S30、S31)、これにつれて表示部40上の▽マーク65も同方向に移動する(S32)。

【0064】このようにして、周波数範囲を設定したうえでアップキー56aまたはダウンキー56bを押すと(S39)、図15(a)に示すように、設定された周波数範囲について、希望特性のレベルが押した回数または押している時間に応じて、設定された周波数範囲の外との連続性を保ちながら、その周波数範囲の中央位置をピークとして曲線で増大または減少していき(S40、S41)、表示部40における希望特性の表示もこれにつれて変化していく。このような修正方法によれば、周波数範囲の指定とレベルの増減量の指定だけですむので操作が簡単である。また、指定した周波数範囲外にはレベルの増減の影響は及ばないので、増減操作により実際に特性がどのように変化するか把握しやすく、希望通りの特性に修正するのが容易である。なお、希望特性を修正する演算は図1の演算手段10で行なわれる。

【0065】演算手段10での具体的な修正処理のアルゴリズムとしては、例えば周波数範囲に応じてどのような修正曲線で増減すれば操作感覚と実際の特性の変化が一致するかを検討して周波数範囲に応じた修正曲線を予めテーブルに設定しておき、設定された周波数範囲に応じて対応する修正曲線をテーブルから読み出して増減指示量に応じたゲインを付与して用いるようにすることができる。このようにすることにより、レベルの増減操作の感覚と実際の特性の変化状態が一致し、所望の希望特性への修正操作が容易となる。

【0066】なお、周波数範囲下限値を全周波数帯域の最低周波数に設定した状態でアップキー56aまたはダウンキー56bを押すと、希望特性は図15(b)に示すように、低域側が片上りまたは片下りの状態に変化していく。同様に、周波数範囲上限値を全周波数帯域の最高周波数に設定した状態でアップキー56aまたはダウンキー56bを押すと、希望特性は図15(c)に示すように、高域側が片上りまたは片下りの状態に変化していく。これらの場合も、例えば周波数範囲および増減量に応じた片上りまたは片下りの修正曲線を予めテーブルに設定しておき、設定された周波数範囲に応じて対応する修正曲線をテーブルから読み出して増減指示量(アップ、ダウンキー56a、56bを押した回数)に応じたゲインを付与して用いるようにすることができる。

【0067】以上のようにして希望特性を修正したら、キースイッチ60を押す(S42)ことにより特性設定ルーチンから抜け、この時、特性決定および設定完了となる(S43)。なお、決定した特性は必要に応じて記憶指示することにより、これを修正希望特性情報としてバックアップ電源付RAM138の指示領域に記憶して、いつでも読み出して用いることができる。したがって、希望特性を切り換えるたびに調整し直す必要はな

い。

【0068】希望特性を修正する別の修正方法を説明する。希望特性を設定したときに、このまま補正特性を求めてイコライジングをすると補正し過ぎると感じる場合がある。そこで、図16に示すように、当初設定した希望特性（前記図15のように修正された希望特性でもよい）と測定特性との間の中間的な特性を演算手段140で自動演算してこれを修正希望特性として新たに設定して用いることができる。具体的には、例えば当初設定した希望特性と測定特性との各周波数における差（すなわち各周波数の補正值）を20等分し、このステップに従い、アップキー56aまたはダウンキー56bを押すごとに希望特性を測定特性に徐々に近づけたり、またはその逆に元の希望特性へ徐々に戻していくような特性変化を算出表示して、所望の特性になったとき、これを新たな希望特性として設定する。図17はこの時の演算過程を示したものである。まず、測定特性Nbと当初設定された希望特性Dbとの差を求め（S51）、この差Ebに【アップキー56aまたはダウンキー56bを押した回数】÷20を掛けて希望特性の修正量ΔEbを求め（S52）、この修正量ΔEbを希望特性Dbに加算してDb+ΔEbを求め（S53）、これを新たな希望特性として用いる（S54）。このようにすることにより、当初の希望特性Dbはほぼ補正しない中間的な補正值を全周波数帯域において簡単な操作でバランスよく設定することができる。このようにして作られた中間的な特性もRAM136で記憶することができる。

【0069】④ 補正特性の演算

補正特性は、希望特性を設定することにより演算手段142にて測定特性との差として自動的に演算されて表示部40に表示される。

【0070】⑤ 補正特性の修正

例えば図18(a)に示す測定特性に対して0dBフラットの希望特性を設定したとすると、補正特性は同(b)

(1)

M_b とする。但し、 i は測定番号で、 $i = 1 \sim N$ とする。 b は全周波数帯域を分

割したバンド番号で $b = 1 \sim B$ とする。 B はこの実施例では31または61である。

【0073】複数のデータが選出されたら、集合平均手段130にてそれらのバンドごとの集合平均として

$$M_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_{ib} \quad (1)$$

を求める（S62）。そして、この集合平均の全バンドの平均値として

$$M = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B M_b$$

を求める（S63）。さらに、正規化した平均測定データとして

に示すように大きなピーク・ディップが生じたものとなる。このピーク・ディップは測定環境下における僅かな変化に起因するものであることが多く、このような補正特性をそのまま用いてイコライジングすると、大きく補正した部分（同(b)中に○で示した部分）では、環境の僅かな変化（例えば空気温度・湿度の影響による周波数特性の僅かなずれ）で、その補正がもはや真の補正となり得ず、逆に通常は生じ得ないような、同(c)に示すごとく補正誤差が大きくなり、かえってくせのある特性になってしまう。そこで、操作者の操作により補正特性のレベルの上下限値を任意の値（例えば±10dB）に設定する。これにより、図1の補正特性演算手段142は図18(d)に示すように補正特性の上下限値をこの設定された値に規制して必要以上の補正を行なわないようにして補正誤差の増大を防止する。また、これにより、補正特性の+側の最大値が制限されるので、最大入力を押え、パワーアンプ、スピーカなど系全体の歪をおさえることができる。

【0071】また、使用するスピーカの再生周波数特性の限界から補正範囲に制限を受ける場合は、演算された補正特性に基づいてそのままスピーカを駆動すると、スピーカに過負荷がかかる場合もあるので、操作者の操作により周波数範囲を設定して、その範囲内だけ補正特性を生かし、範囲外は0dBフラットとすることにより補正が行なわれないようにする。補正を行なう周波数範囲は、図3の表示部40に補正周波数範囲表示50として横棒グラフで表示される。

【0072】以上のようにして、測定データが得られてから最終的な補正特性が決まるまでの各段階での具体的な演算過程の一例を図19に示す。図1のバンドデータメモリ126に記憶されている複数回の測定データの中から取捨選択して測定特性の算出に用いるデータを選び出し（S61）、重み付けする。選出されたデータを

$$N_b = M_b - M$$

を求め（S64）、これを測定特性として表示部40に表示する。この測定特性Nbはスプライン補間されて連続データとされる。正規化により、測定特性Nbの平均値は常に0dBになるように調整され、收音レベルが小さくても表示部40上での測定特性表示は常に略々同一レベル上に来るようになり、希望特性表示との対比がしやすくなる。

【0074】操作者の操作により希望特性Dbが設定されると（S65）、演算手段142において補正特性として

$$E_b = N_b - D_b$$

が求められる（S66）。ここでの測定特性Nbはスプ

ライン補間された後のデータである。そして、この補正特性の全バンドの平均値として

$$E = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B E_b$$

を求める (S 6 7)。さらに、演算手段 1 4 2 は正規化した補正特性として

$$F_b = E_b - E$$

を求める (S 6 8)。正規化により、補正特性 F_b の平均値は常に 0 dB になるように調整され、これにより全体として補正前、補正後の音は音質が変わるだけで音量は変わらない。

【0075】求められた補正特性 F_b に対しては、前記図 1 8 (d) のレベルの上限値および下限値を規制する処理を行なう (S 6 9)。また、ステップ S 6 6 ~ S 6 9 の工程は、前記図 1 8 (e) の指定された周波数範囲内についてのみ行なう。指定された周波数範囲外について

	伝送特性	遅延量	フィルタ係数算出の容易さ
直線位相フィルタ	◎	× (大)	○
最小位相フィルタ	△	◎ (小)	△

これによれば、直線位相フィルタは伝送特性が良く、フィルタ係数算出も容易であるが、遅延が大きすぎて (図 6 (d) 参照)、PA やミックスダウンなどリアルタイム性が必要な場合は使えない (生の音とイコライジングした音が時間的にずれてしまうため)。また、最小位相フィルタは伝送特性やフィルタ係数算出の容易さという点では直線位相フィルタより劣るが、遅延はほとんどないので (図 6 (e) 参照)、リアルタイム性が必要な場合に向いている。したがって、使用目的に応じて操作者がいずれかのアルゴリズムを選択できるようにして、1 つの機器を様々な場面で使用できるようにしている。

【0078】いずれにせよ、補正特性付与はデジタル畳み込み演算を用いた FIR フィルタを利用しているので、アルゴリズムを切り換えるだけで直線位相フィルタ、最小位相フィルタ、あるいはその他の特別な特性を付与でき、使用目的にあった仕様変更は極めて容易であり、また、必要に応じて任意に演算精度を高めれば、補正精度も任意に設定でき、この種音響特性補正装置において FIR 補正手段を用いた実用上の効果は大きい。

【0079】イコライザフィルタ係数演算手段 1 4 4 において補正特性からフーリエ逆変換等を利用して直線位相フィルタのインパルス応答および最小位相フィルタのインパルス応答を算出する手順の一例を説明する。

【0080】(A) 直線位相フィルタのインパルス応答の算出

i) 補正特性を一旦帯域分割して (例えば $1/3 \sim 1/12$ オクターブピッチごと)、各帯域ごとのパワー平均を求める。

ii) 求められたパワー平均値をそれぞれの帯域の中心

ては、補正特性を 0 dB フラットにする処理が別途行なわれる (S 7 0)。このようにして最終的に定められた補正特性は畳み込み用 (イコライザ用) フィルタ係数算出のためのルーチンへ行く (S 7 1)。

【0076】⑥ イコライザフィルタ係数の演算

音響特性補正用の FIR フィルタのアルゴリズムには、それぞれ長所、短所があり、使用目的によっては使えない場合がある。そこで、ここでは FIR フィルタとして、直線位相フィルタ (Linear Phase Filter)、最小位相フィルタ (Minimum Phase Filter) のいずれか一方を操作者の選択操作に応じて選択できるようにしている。直線位相フィルタおよび最小位相フィルタのインパルス応答は例えば前記図 6 (d)、(e) に示したとおりであり、両者の長所、短所はそれぞれ次のとおりである。

【0077】

遅延量 フィルタ係数算出の容易さ
周波数における値として用いてスプライン補間等により、フーリエ変換が可能なような 4096 点のデータに補間する。

iii) ii) で求められたデータを実部 (振幅項に相当) とし、虚部 (位相項に相当) はすべて 0 にした複素形式データに対してフーリエ逆変換をする。

iv) その結果得られる複素形式データの実部はそのまま直線位相インパルス応答となるので、これらを FIR フィルタ (畳み込み演算器 3 4) の係数としてセットする。

【0081】(B) 最小位相フィルタのインパルス応答の算出

i) 補正特性を一旦帯域分割して (例えば $1/3 \sim 1/12$ オクターブピッチごと)、各帯域ごとのパワー平均を求める。

ii) 求められたパワー平均値をそれぞれの帯域の中心周波数における値として用いてスプライン補間等により、フーリエ変換が可能なような 4096 点のデータに補間する。

iii) ii) で求められたデータを実部とし、虚部はすべて 0 にした複素形式データに対してヒルベルト変換を施し、補正特性曲線に合致かつ最小位相推移系となる複素形式データを算出する。この複素形式データは、虚部上に必要な位相成分が付加されている。

iv) iii) で得られた複素形式データをフーリエ逆変換する。

v) その結果得られる複素形式データの実部は最小位相インパルス応答となるので、これらを FIR フィルタ (畳み込み演算器 3 4) の係数としてセットする。

【0082】なお、直線位相フィルタ、最小位相フィルタのほかにその中間的な特性のフィルタなどを用意して、その中から任意のものを選択することもできる。

【0083】⑦ 補正特性の確認

以上のような手順でFIRフィルタ34の係数を設定して補正効果の確認を行なった結果と図20に示す。

(a)は各測定ポイントP1～P5(図5参照)における当初の(すなわちイコライジングなしの)測定結果である。(b)は各ポイントP1～P5の測定データを同じ重みづけで集合平均した測定特性および操作者により任意に設定された希望特性である。(c)は(b)の希望特性との差として求められた補正特性である。この補正特性に基づいて算出したFIRフィルタ係数を畳み込み演算器34にセットしてイコライザを構成し、測定用信号(バンド信号またはTSP信号)をこのイコライザを通して再生して再度測定を行なう。各測定ポイントP1～P5にて測定した結果を図20(d)に示す。これによれば(a)の補正前と比べて、どの測定ポイントにおいても相応の特性補正がなされており、これらのポイントを含むエリアについて最適な補正がなされたことが確認できた。

【0084】⑧ 音楽再生

測定用信号に代えて音楽ソースを入力してイコライザ(畳み込み演算器34)に通して再生することにより、希望特性どおりの再生特性で音楽鑑賞を楽しむことができる。

【0085】なお、ホール等において多数のスピーカ系統が存在する場合にはスピーカ系統ごとに補正装置が必要であるが、図1、2に示す応答特性測定機能付き音楽特性補正装置10を各系統ごとに用いたのでは設備コストが高くつく可能性がある。そこでそのような場合には、図21に示すように、応答特性測定機能付き音響特性補正装置10を1系統分だけ用意し、他は応答特性測定機能の付いてない音響特性補正機能だけ有する拡張ユニット11を用いることができる。この場合、各系統SY1～SYnについて応答特性の測定を行なうときは、応答特性測定機能付き音響特性補正装置10を用いて、これに各系統SY1～SYnを順次つなぎ換えて測定を行ない、測定結果を補正装置10の本体部12に蓄えて、補正装置10にて各系統の希望特性の設定、補正特性の演算およびFIRフィルタ(イコライザ)係数の演算を行なって、FIRフィルタ係数の演算結果を通信ケーブル13またはRAMカード148を使って対応する系統の拡張ユニット11に転送する。そして、各拡張ユニット11は転送されたFIRフィルタ係数を畳み込み演算器34にセットすることにより、希望特性どおりのイコライジングを行なうことができる。これによれば、拡張ユニット11には特性測定および希望特性の設定、補正特性の演算、修正、FIRフィルタ係数の演算のための構成は不要なので、簡易に構成でき、設備コストを

下げることができる。

【0086】

【変更例】なお、上述した実施例では、測定特性の演算にあたり、バンド信号法およびTSP法のいずれの場合でも分割バンドごとに求めた平均値に対して例えばスプライン補間等を施して測定特性を求めるとともに、補正特性を実現するFIRフィルタ係数を演算する際に再びバンド分割するようにしたが、特にこれに限られるものではない。

【0087】すなわち、得られた測定特性を高精度で表示したり、あるいは測定特性を別途利用しようとする場合には、分割バンドデータのままであると些か利用しにくい。それ以外であれば、補正特性を演算する際のスプライン補間を行うようにして、それ以前の測定特性の演算の際の補間処理を省略または簡略化することができる。例えば、周波数分割した帯域ごとに算出された測定特性と周波数分割した帯域ごとに設定された希望特性に基づいて補正情報を周波数分割した帯域ごとの補正值として算出し、各帯域ごとに算出された補正值を個々の帯域の略々中心周波数における値としてそれらの間の値を補間により算出して、補正特性を得ることもできる。このようにすれば、補正特性に大きなピーク・ディップが生じるのが防止され、極端な補正による聴感上の違和感が防止できることは当然として、4096点補間した測定特性に基づいてそのまま補正特性を演算する場合等に比べて演算量が各段に低減でき、しかも最終的に求められる補正特性としてはそれほど大きな精度劣化も生じないので、効果的である。

【0088】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の発明によれば、測定用信号としてTSP信号を用いて応答特性の測定を行なう場合に、測定の際の逆フィルタ特性による時間圧縮と補正特性の付与に共通の畳み込み演算器を用いるようにしたので、ハードウェア構成が簡略化されて、装置の小型化を図ることができる。

【0089】また、請求項2記載の発明によれば、畳み込み演算器の段数としては補正特性の付与に必要な段数を用意し、逆フィルタ特性による時間圧縮を時間的に分割して行なうようにしたので、小型の畳み込み演算器を用いて時間圧縮と補正特性の付与に共用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施例を示すブロック図で、図2の音響特性補正装置10の制御構成を示すものである。

【図2】 この発明が適用された音響特性補正装置10内のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図3】 図2のリモコン部14のパネル構成を示す外觀図である。

【図4】 図1の音楽特性補正装置による特性測定から

イコライザとして使用するまでの手順の概要を示すフローチャートである。

【図5】 図2の音響特性補正装置を用いて音響特性の測定を行なうときの機器の接続状態およびマイク配置と、イコライザとして音楽再生に用いる時の機器の接続状態を示す図である。

【図6】 図4の工程における各種特性を示す図である。

【図7】 測定時の帯域の分割状態を示す図である。

【図8】 バンド信号法で用いられるバンド信号を示す図である。

【図9】 TSP法の概要を示す図である。

【図10】 分割された帯域ごとのデータに基づいて帯域間を補間して連続した測定特性を得る手法を説明する図である。

【図11】 テストおよび測定特性の演算における操作手順の一例を示すフローチャートである。

【図12】 希望特性の設定手順を示すフローチャートである。

【図13】 ROMに用意されている希望特性の各種パターンを示す図である。

【図14】 従来のグラフィックイコライザやパラメトリックイコライザにおける特性調整手法を示す図である。

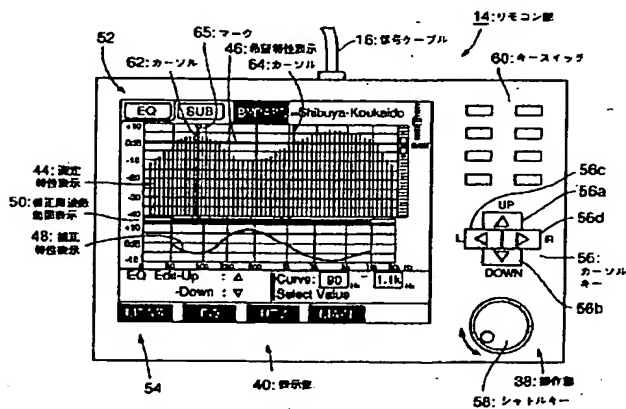
【図15】 希望特性の修正手法を示す図である。

【図16】 希望特性を修正する別の手法を示す図である。

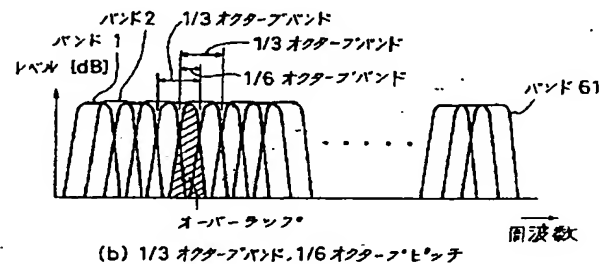
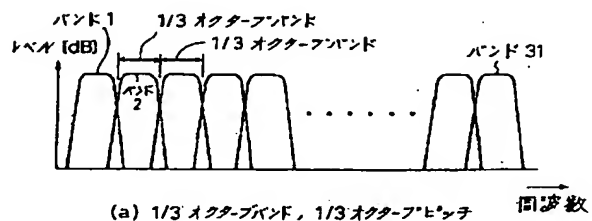
【図17】 図16の手法を実現するための演算過程を示すフローチャートである。

【図18】 補正特性の修正手法を示す図である。

【図3】



【図7】



【図19】 測定データが得られてから補正特性が決まるまでの各段階での演算過程の一例を示すフローチャートである。

【図20】 測定特性、補正特性および補正効果の実測値を示す図である。

【図21】 多数のスピーカ系統が存在する場合のこの発明の一実施例を示すブロック図である。

【図22】 逆TSP信号による時間圧縮を時間分割して行なうためのハードウェア構成例を示す図である。

【図23】 図22の畳み込み演算器22の構成例を示すブロック図である。

【図24】 図22の制御部150によるブロック構成を示す図である。

【図25】 図24の制御ブロックによる制御フローチャートである。

【図26】 図22の制御部150による別の制御ブロック構成を示す図である。

【符号の説明】

10 音響特性補正装置

30 測定用信号発生器 (測定用信号発生手段)

34 畳み込み演算器 (逆フィルタ手段、補正特性付与手段)

38 操作部 (希望特性設定手段)

70, 76, 78 部屋、スピーカ (音場を含めた再生系)

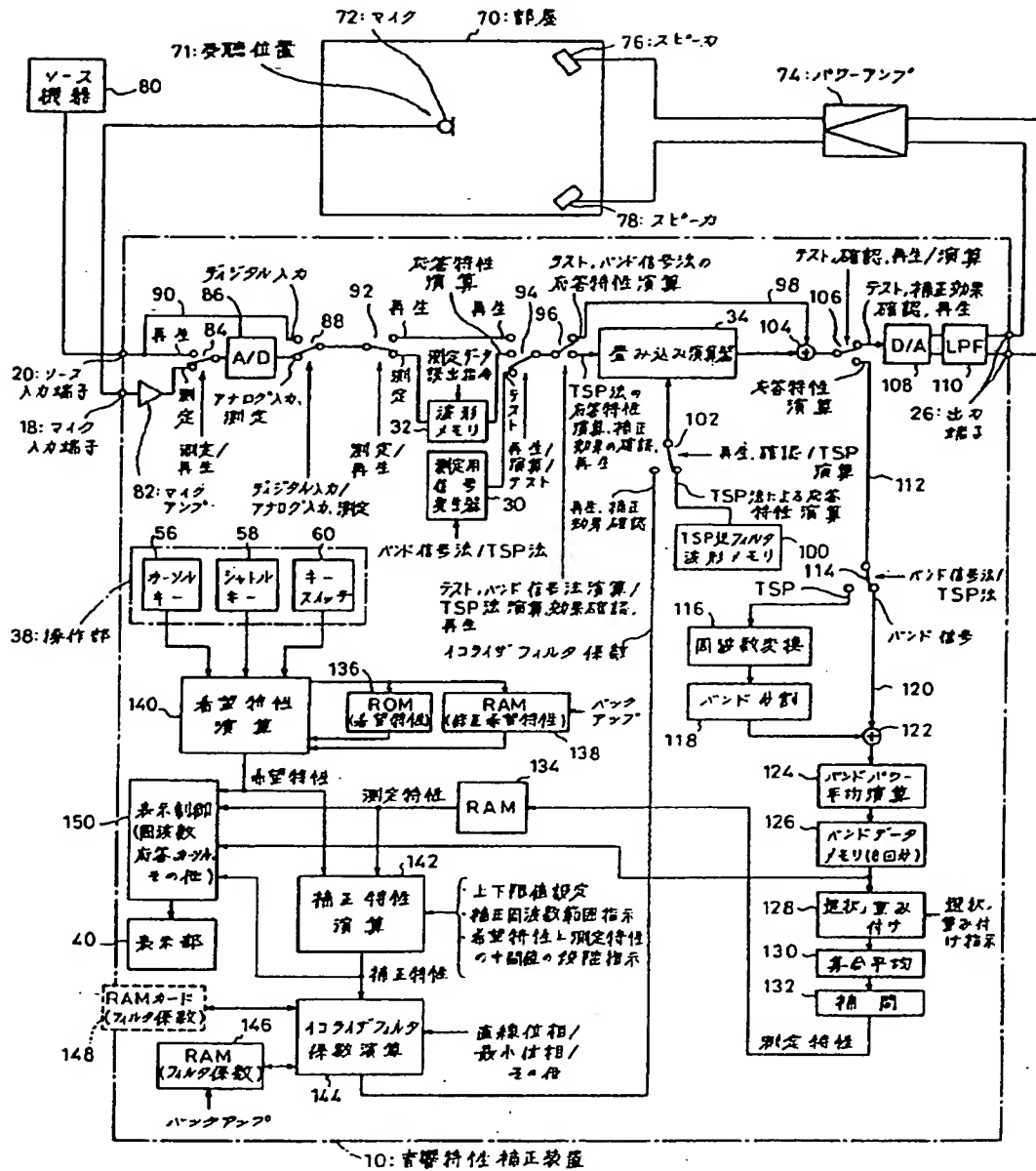
72 マイク

76, 78 スピーカ

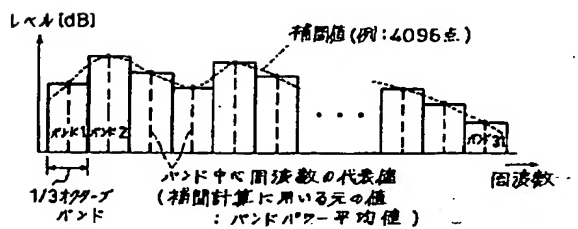
116 周波数変換手段

142 補正特性演算手段

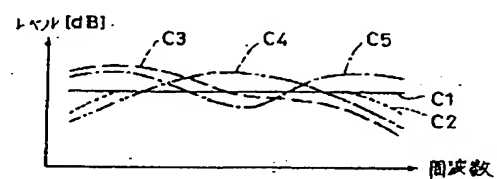
【図1】



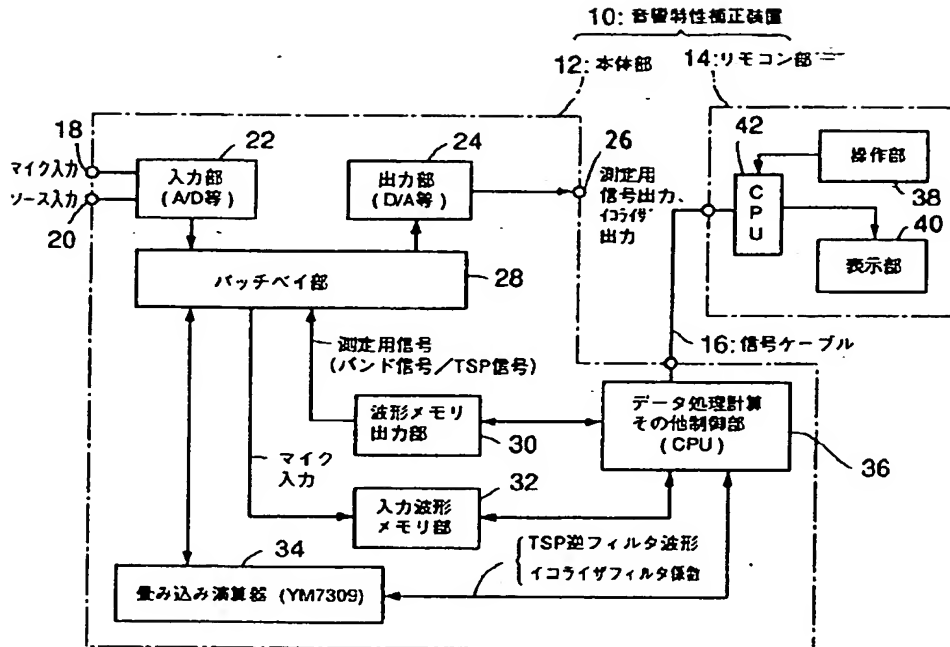
【図10】



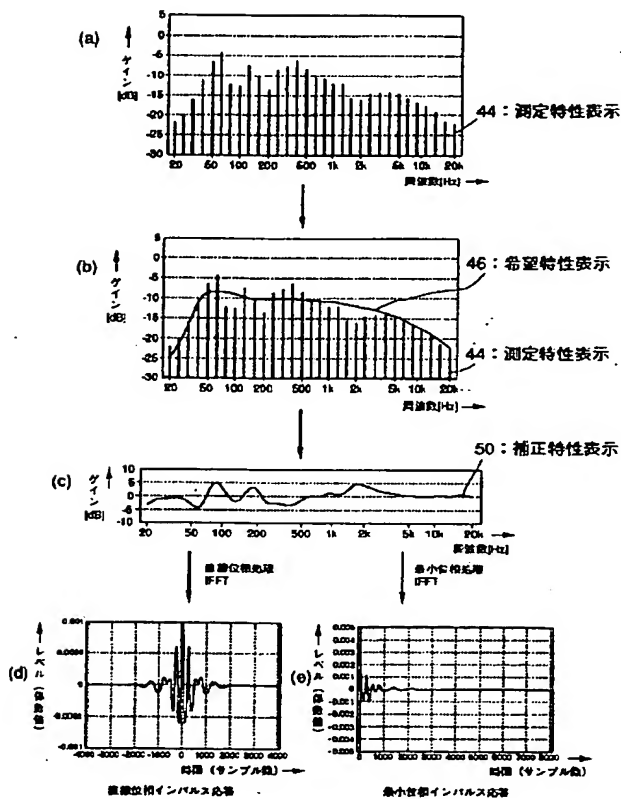
【図13】



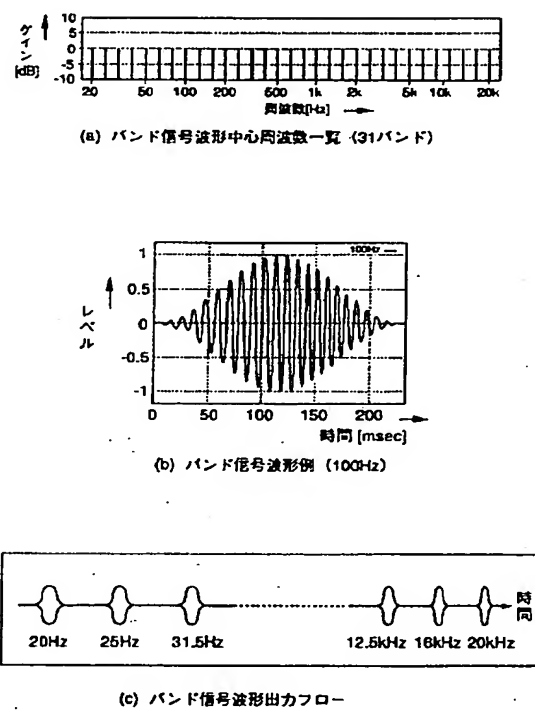
【図2】



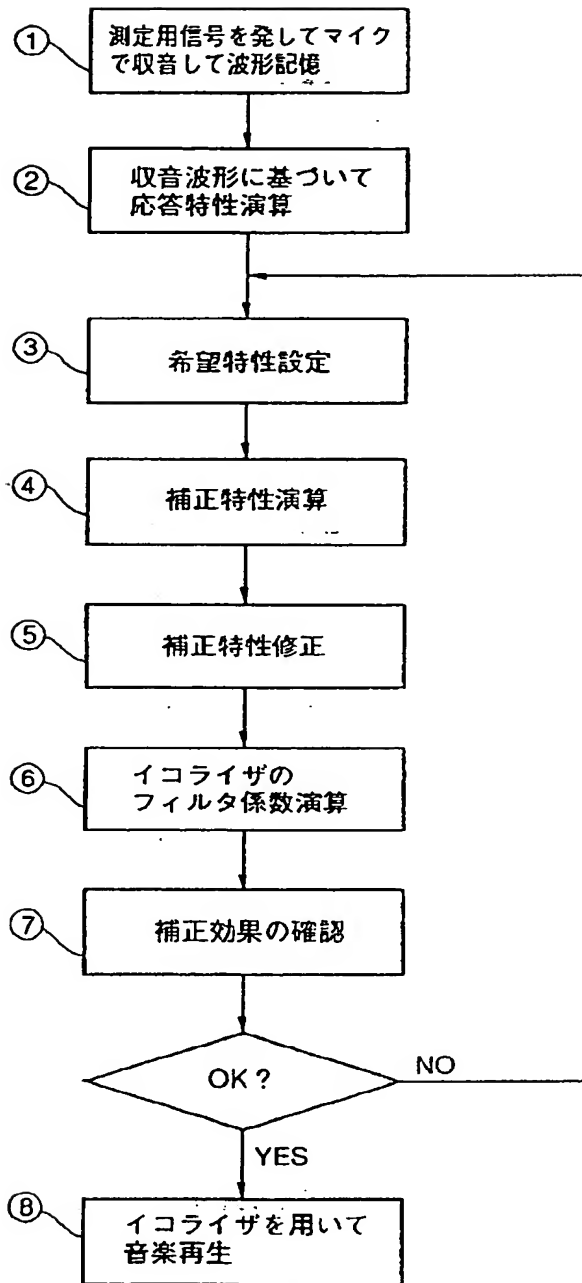
【図6】



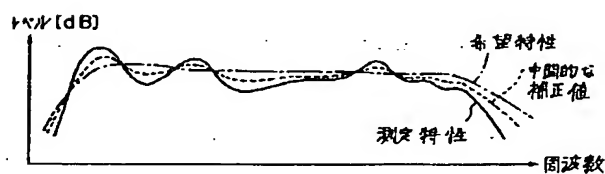
【図8】



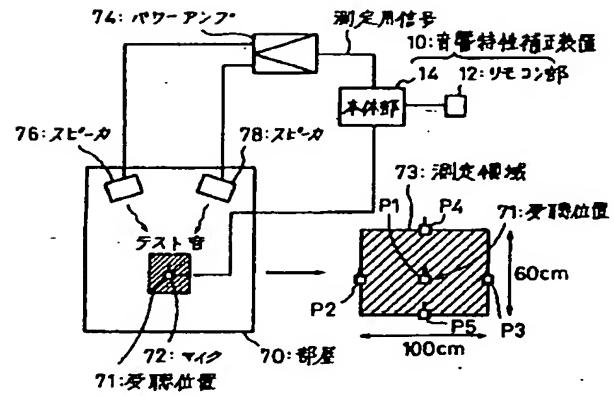
【図 4】



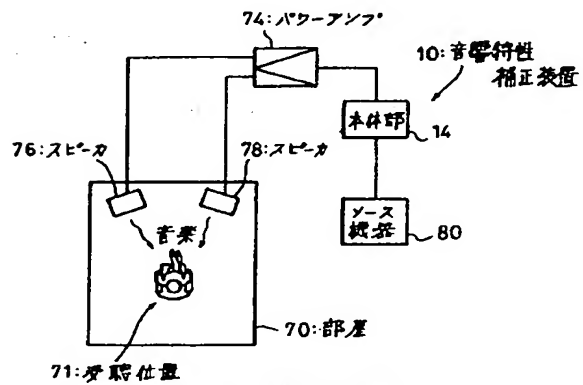
【図 16】



【図 5】

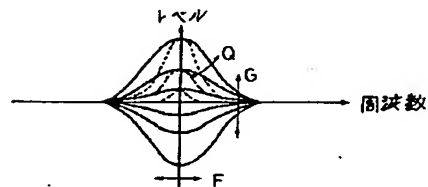


(a) 測定時、補正効果確認時

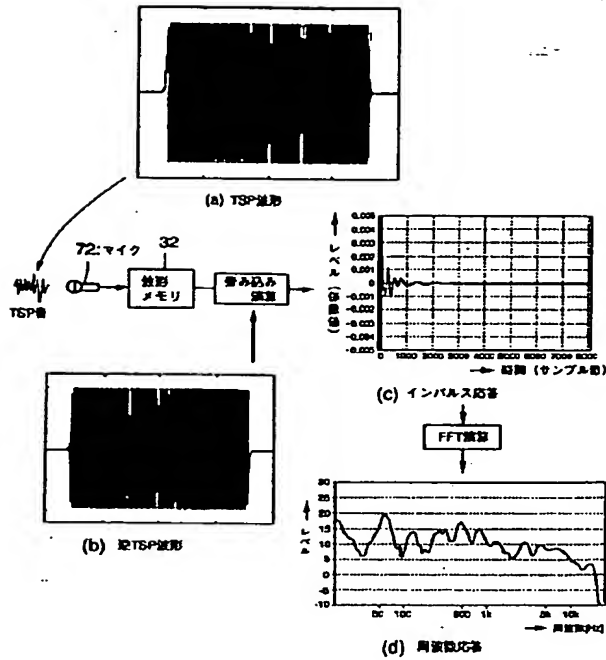


(b) 音楽再生時

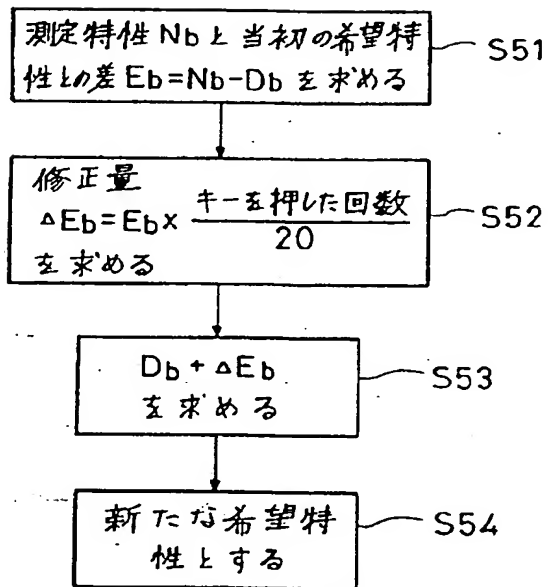
【図 14】



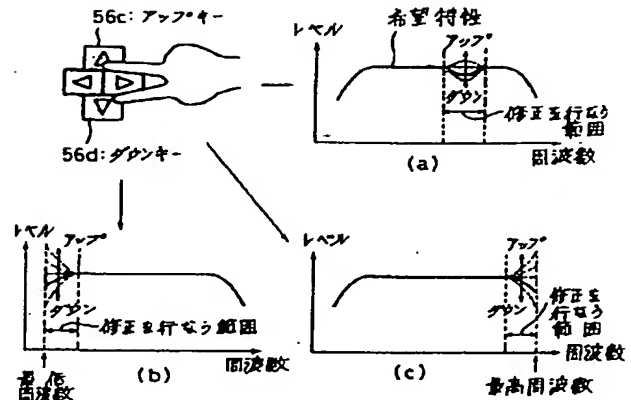
【図 9】



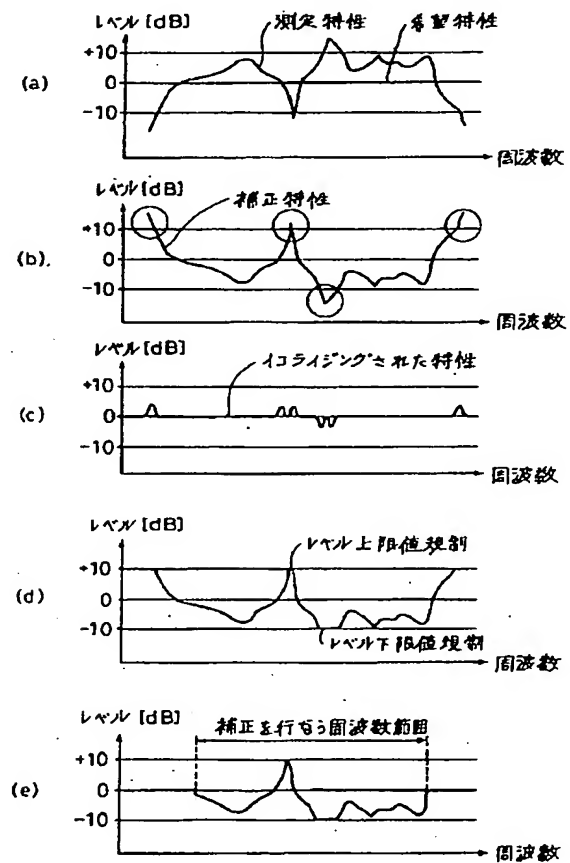
【図 17】



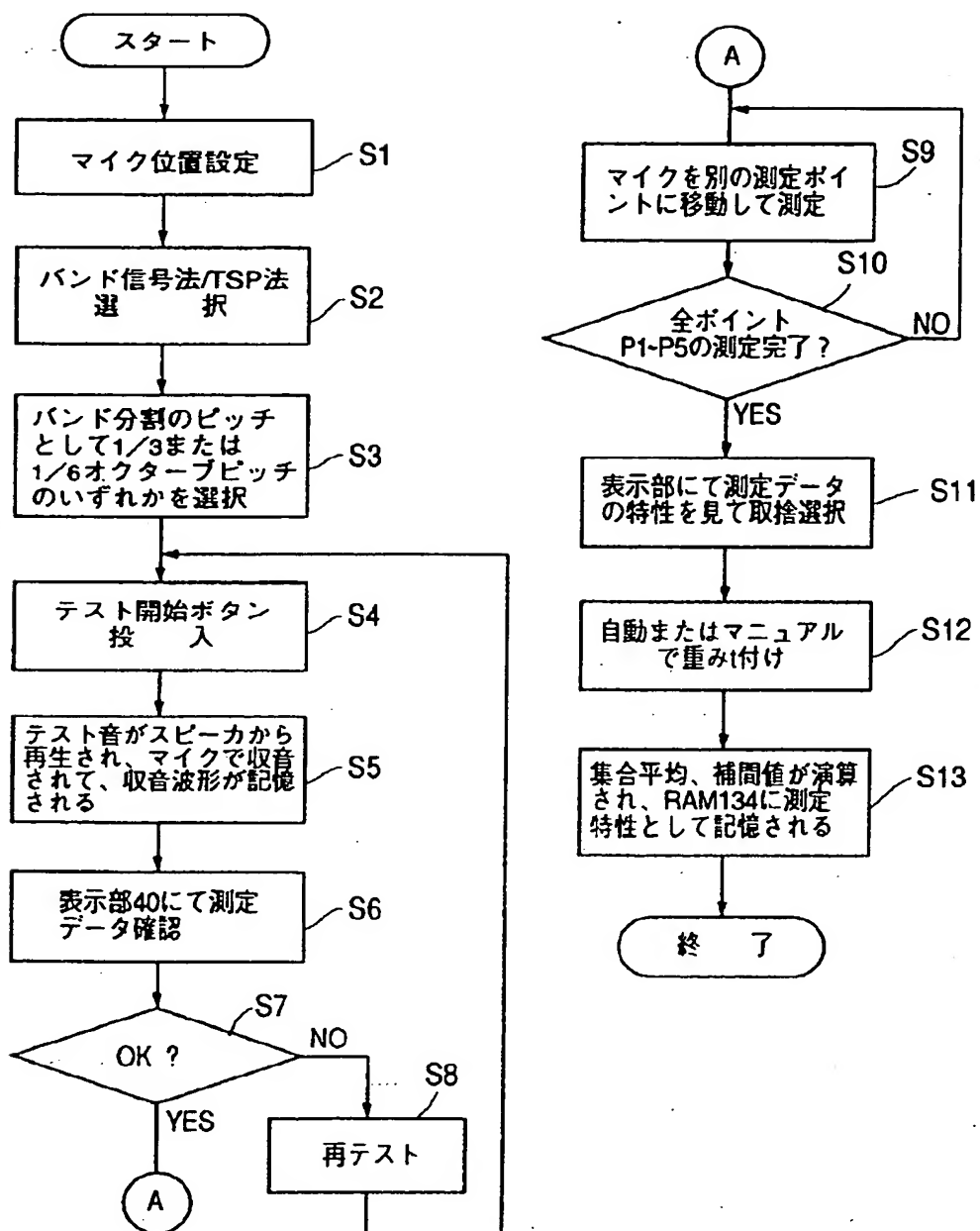
【図 15】



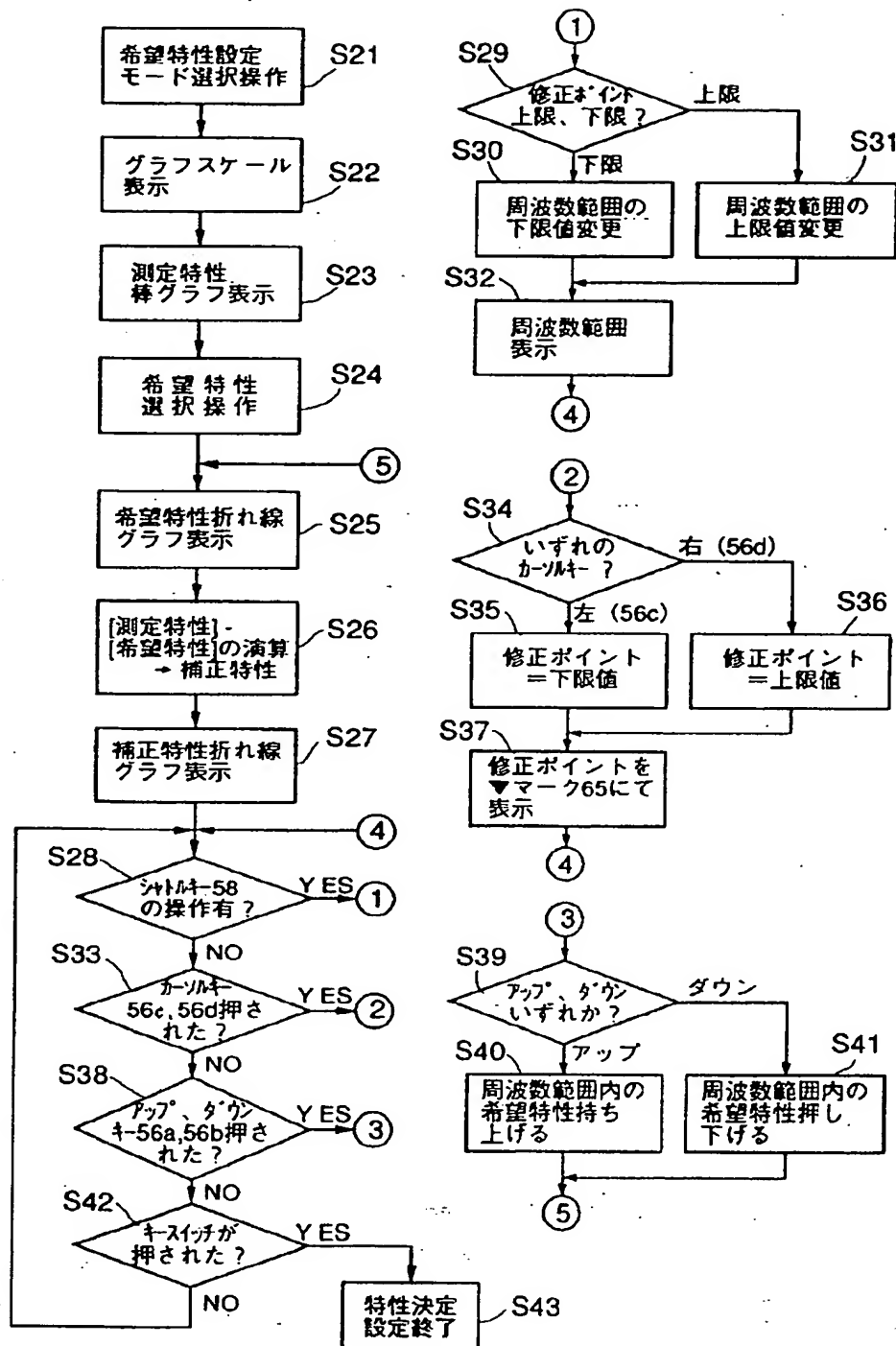
【図 18】



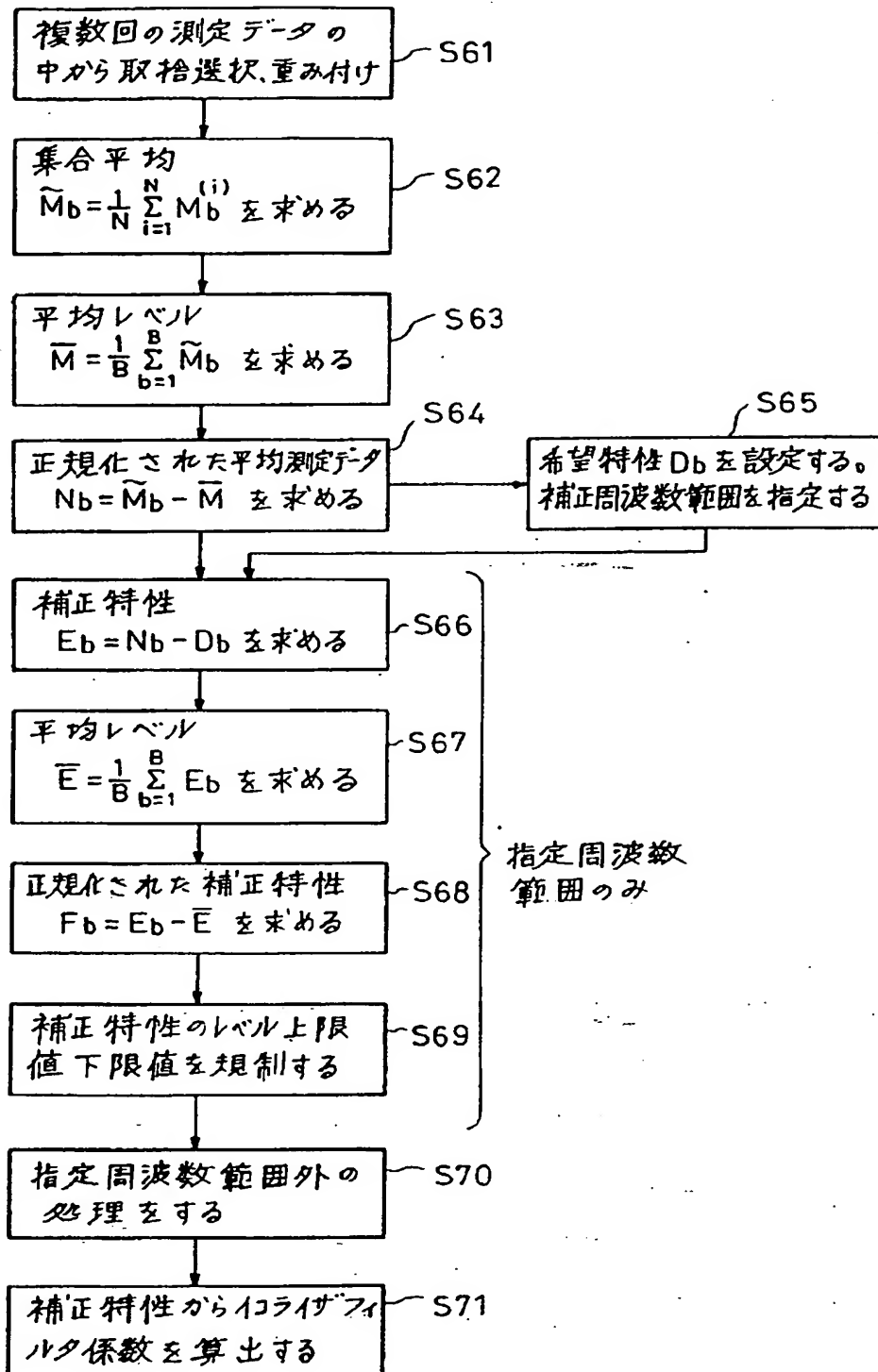
【図 11】



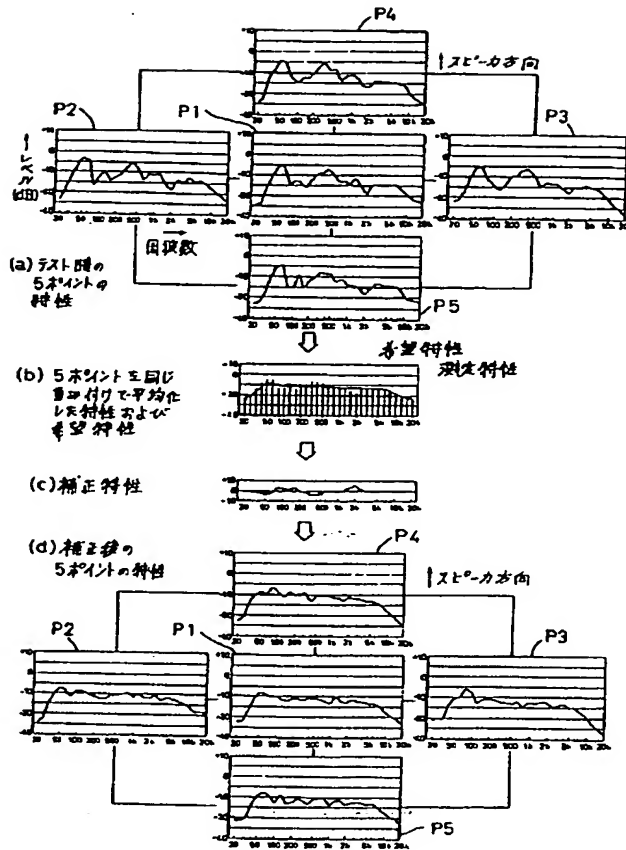
【図12】



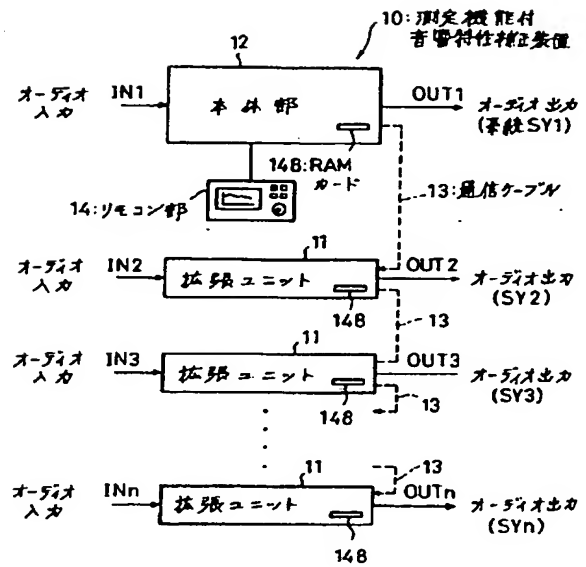
【図19】



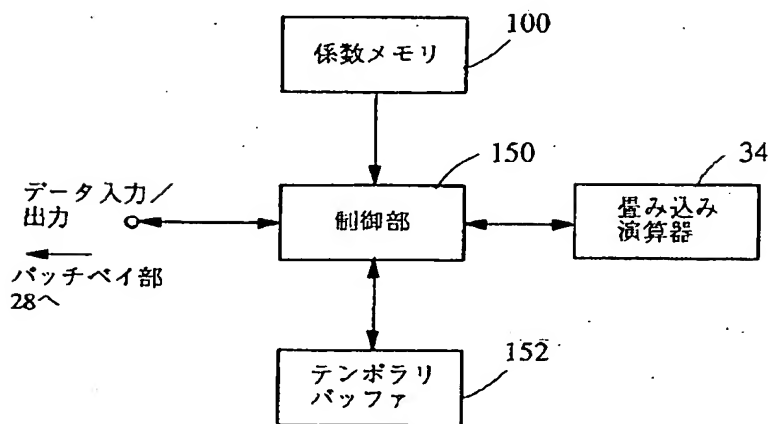
【図 20】



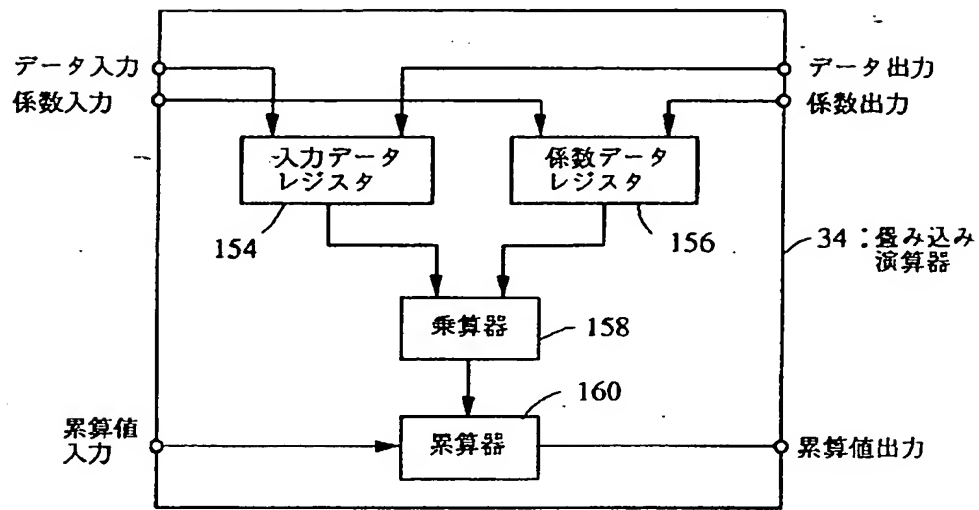
【図 21】



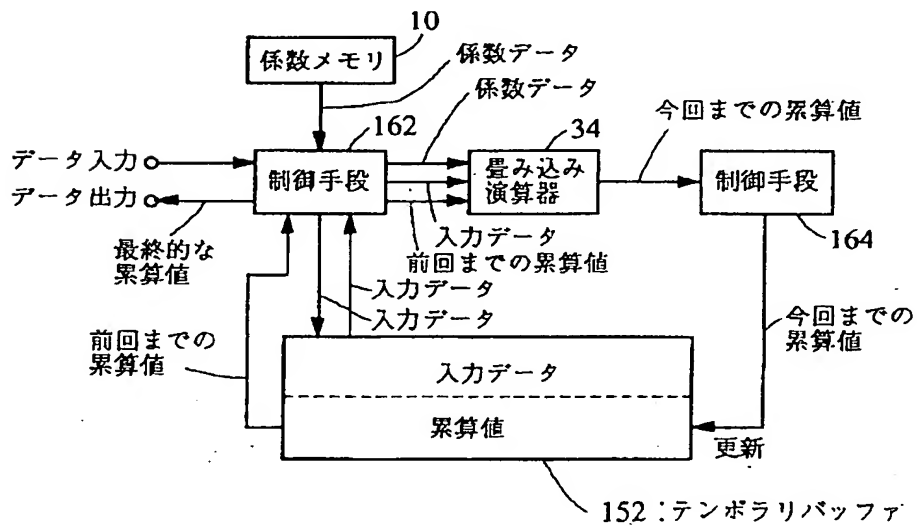
【図 22】



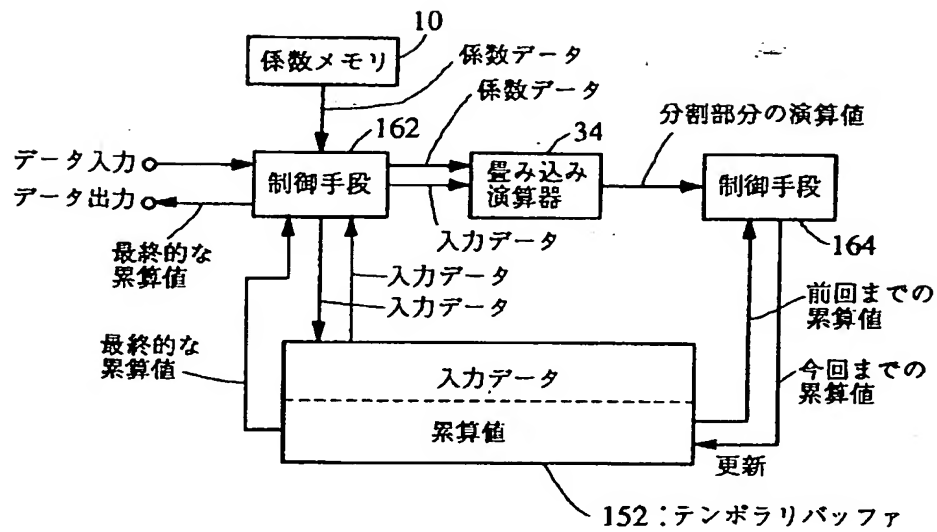
【図 23】



【図 24】



【図 26】



【図 25】

